

Применение обратимых нейронных сетей для идентификации параметров внутреннего слоя трехслойной упругой полосы

Научный руководитель – Бобылев Александр Александрович

Щербakov Михаил Евгеньевич

Аспирант

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
Механико-математический факультет, Кафедра теории упругости, Москва, Россия
E-mail: shcherbakov.o.e@gmail.com

Рассматривается задача идентификации параметров внутреннего слоя трехслойной упругой полосы на основе результатов моделирования процесса индентирования полосы жестким штампом с микровыступами. Постановка контактной задачи, параметры штампа и параметры внешней нагрузки приведены в [1].

Задача идентификации состоит в нахождении четырех параметров среднего слоя полосы (модуля Юнга, коэффициента Пуассона, положения нижней и верхней границ) по измеряемым в процессе вдавливания индентора контактными усилиями на микровыступах. Другие два слоя полосы идентичны по своим механическим свойствам, которые считаются известными.

Для решения задачи разработан вычислительный алгоритм на основе обратимых нейронных сетей (Invertible Neural Networks, INN). Обучающий, проверочный и тестовый наборы строятся путем многократного решения прямой задачи для заданных параметров внутреннего слоя. Алгоритмы решения прямой задачи разработаны в [1, 2]. Набор параметров внутреннего слоя генерируется при помощи известного статистического метода LHS (Latin Hypercube Sampling).

В настоящей работе применяется архитектура обратимой нейронной сети, предложенная в [3]. Ключевая идея подхода состоит в построении взаимно-однозначного отображения между пространством искомых параметров среднего слоя и расширенным пространством наблюдений, включающим контактные усилия и латентные переменные. Латентные переменные вводятся для компенсации потери информации о параметрах при отображении их в контактные усилия в ходе решения прямой задачи. Сеть строится как последовательность обратимых блоков, что обеспечивает эффективное вычисление как прямого, так и обратного преобразований. Обучение выполняется путем максимизации логарифма правдоподобия контактных усилий, при этом распределение латентных переменных регуляризуется к стандартному нормальному. При решении обратной задачи апостериорное распределение параметров для заданных контактных усилий восстанавливается обращением обученной сети: латентные переменные генерируются из стандартного нормального распределения и совместно с усилиями преобразуются в значения параметров среднего слоя.

Для оценки эффективности разработанного алгоритма проведено сравнение с полносвязной нейронной сетью, аппроксимирующей отображение контактных усилий в параметры среднего слоя. Результаты численных экспериментов показывают снижение ошибки восстановления параметров при использовании подхода на основе INN. Кроме того, в отличие от детерминированной регрессии, данный подход позволяет получать апостериорное распределение этих параметров.

Источники и литература

- 1) Бобылев А. А. Алгоритм решения задач одностороннего дискретного контакта для многослойной упругой полосы // Прикладная механика и техническая физика. 2024, том 65, № 2. С. 230-242.
- 2) Бобылев А. А. Численное построение трансформанты ядра интегрального представления оператора Пуанкаре-Стеклова для упругой полосы // Дифференциальные уравнения. 2023, том 59, № 1. С. 115-129.
- 3) Ardizzone L. et al. Analyzing inverse problems with invertible neural networks // International Conference on Learning Representations. 2019.